

**Wetterprognosen
Erneuerbare Energien
Luft und Klima
Umweltinformatik**

Genossenschaft METEOTEST
Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern
Tel. +41 (0)31 307 26 26
Fax +41 (0)31 307 26 10
office@meteotest.ch, www.meteotest.ch



OSTERWALDER
LEHMANN
INGENIEURE UND
GEOMETER AG



Alte Landstrasse 248
8708 Männedorf
Tel.: +41 43 388 10 30
Fax: +41 43 388 10 31
maennedorf@olig.ch
www.olig.ch

Bern, 8. Juli 2013

Solarkataster Stäfa

Schlussbericht

Auftraggeber:

Gemeinde Stäfa
Goethestr. 16
CH - 8712 Stäfa

Das Solarkataster ist eine Solarpotenzialanalyse. Es eignet sich, um einen ersten Richtwert zu erhalten, welches Potenzial für Sonnenenergienutzung auf einem Dach besteht. Die Erstellung des Solarkatasters erfolgt teilweise automatisiert. Einzelne fehlerhafte Angaben sind nicht auszuschliessen. Meteotest übernimmt keine Haftung für die Richtigkeit der Angaben und deren Folgen. Dieses Solarkataster ersetzt nicht die Beratung durch eine Fachperson (Photovoltaik, Solarthermie).

Version	Datum	Dokument	Projektnummer
1	03.07.2013	Schlussbericht	13_043

Bearbeitung	Name	Datum
Erstellt von	Barbara Huguenin-Landl Tanja Humar	03.07.2013
Kontrolliert von	Daniel Klauser	03.07.2013
Genehmigt von	René Cattin	08.07.2013

Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsabwicklung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Zusammenfassung

Die Gemeinde Stäfa hat die Osterwalder Lehmann Ingenieure und Geometer AG und Meteotest im Mai 2013 mit der Erstellung eines Solarkatasters für die Gemeinde Stäfa beauftragt. Als Datengrundlage für das Oberflächenmodell wurden aktuelle Luftbilder aus dem Frühjahr 2012 von der Firma Flotron AG ausgewertet.

Im Solarkataster werden pro Dachfläche die Ausrichtung, Neigung, Fläche sowie die Einstrahlung und der zu erwartende elektrische Ertrag angegeben. Das Solarkataster liegt als digitaler Vektordatensatz vor.

Die untenstehenden Tabellen zeigen eine Übersicht der Eignung der Dachflächen für Solarenergienutzung sowie eine Übersicht zum Photovoltaik-Potenzial.

Tabelle: Eignung der Dachflächen für Solarenergieerzeugung.

Eignung	Anzahl	Fläche [m ²]	Fläche Schrägdächer [m ²]	Fläche Flachdächer [m ²]	Anteil Gesamtfläche [m ²]
sehr gut	2'307	192'132	70'784	121'348	33%
gut	3'415	159'289	112'711	46'578	28%
mässig	3'045	120'458	109'479	10'979	21%
schlecht	2'668	102'302	97'833	4'469	18%
Total	11'435	574'181	390'807	183'374	100%

Tabelle: Photovoltaikpotenzial für die Gemeinde Stäfa.

Potenzial	GWh/Jahr
theoretisches Potenzial	76
technisches Potenzial	62
wirtschaftliches Potenzial	40
wirtschaftliches Potenzial unter Berücksichtigung von solarthermischer Nutzung, zusätzlichen störenden Aufbauten und Denkmalschutz	27

Inhalt

1	Datengrundlagen	5
1.1	Geodaten.....	5
1.2	Einstrahlungsdaten.....	5
2	Methodik.....	6
2.1	Gebäude, Ausrichtung, Neigung.....	6
2.2	Dachflächenanalyse	6
2.3	Horizontanalyse.....	8
2.4	Strahlungsberechnung.....	8
3	Ergebnisse Solarpotenzialanalyse	12
3.1	Einstrahlungskarte.....	12
3.2	Solarkataster Dachflächen.....	12
3.3	Umrechnung in elektrische Energie	15
3.4	Installierte elektrische Leistung pro Fläche	16
3.5	Solarthermische Nutzung (Sonnenkollektoren).....	16
3.6	Photovoltaik- und Solarthermie-Potenzial für die Gemeinde Stäfa.....	17

1 Datengrundlagen

1.1 Geodaten

Als Datengrundlage für die Oberfläche diente ein digitales Oberflächenmodell DOM mit einer Auflösung von 20 x 20 cm, das von der Firma Flotron AG auf der Basis aktueller Luftbilder aus dem Frühjahr 2012 abgeleitet wurde. Das DOM bildet die beständig sichtbare Oberfläche ab und beinhaltet somit Wälder, Gebäude und weitere Kunstbauten.

Weiter standen die Grundrisse der Gebäude aus der amtlichen Vermessung zur Verfügung. Die Gebäudegrundrisse werden dazu verwendet, die zu betrachtenden Gebäude aus dem Oberflächenmodell auszuschneiden.

1.2 Einstrahlungsdaten

Die Berechnung der Einstrahlung erfolgte mit dem Meteotest-eigenen Produkt *meteonorm*¹. Meteonorm ist eine umfassende meteorologische Referenz. Diese ermöglicht den Zugriff auf meteorologische Daten für solare Anwendungen, System-Design und eine breite Reihe anderer Anwendungen für jeden beliebigen Ort der Welt.

Zahlreiche globale und regionale Datenbanken wurden auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und in der Meteonorm Datenbank kombiniert. Die wichtigsten Datenquellen sind GEBA (Global Energy Balance Archive), World Meteorological Organization (WMO / OMM) Klimanormalwerte 1961–1990 und die Schweizer Datenbank von MeteoSchweiz. Insgesamt basiert Meteonorm auf Wetterdaten von 8'300 Wetterstationen. In der Schweiz mit ihrer hohen Stationsdichte und dank dem Einbezug von Satellitendaten ist die Qualität der Daten besonders hoch. Die Unsicherheit des langjährigen Jahreswerts auf geneigte Flächen (30 Grad Süd) beträgt für Gemeinde Stäfa rund 5%.

Ausgehend von den monatlichen Werten (Stationsdaten, interpolierte Daten oder importierte Daten), berechnet Meteonorm stündliche Werte aller Parameter mit Hilfe eines stochastischen Modells. Die resultierende Zeitreihe entspricht einem "typischen Jahr".

Es wurde die im Mai 2012 erschienene Version 7 der Meteonorm verwendet. Die Einstrahlungsdaten für das Solarkataster der Gemeinde Stäfa basieren auf mittleren Messwerten der Periode 1986 bis 2005. Dies ist die aktuellste europaweit verfügbare 20-Jahresperiode. Die Meteonorm verwendet diese Periode aus Gründen der Vergleichbarkeit verschiedener Standorte in Europa.

¹ <http://www.meteonorm.com>

2 Methodik

2.1 Gebäude, Ausrichtung, Neigung

Die Arbeitsschritte und Ergebnisse werden im Folgenden anhand des Beispielgebiets Tödistrasse (Abbildung 1) erläutert.



Abbildung 1: Aktuelles Orthofoto vom Bildflug im Frühjahr 2012 für das Beispielgebiet Tödistrasse.

Mit Hilfe der Gebäudegrundrisse wurde aus dem DOM in einem ersten Schritt ein Oberflächenmodell (Beispiel: Abbildung 2) abgeleitet, welches nur die zu betrachtenden Gebäude enthält (Gebäudeoberflächenmodell). Dies erlaubt es, die Rechenzeit der nachfolgenden Schritte erheblich zu reduzieren. In einem zweiten Schritt wurde für jeden Rasterpunkt im Gebäudeoberflächenmodell die Ausrichtung und Neigung berechnet.

2.2 Dachflächenanalyse

Das DOM liegt als Raster vor und enthält deshalb keine Information über die einzelnen Dachflächen (keine Vektordaten). Um Aussagen über einzelne Dachflächen (Ausrichtung, Neigung, Einstrahlung) machen zu können, müssen diese zuerst er-

kannt werden. Meteotest hat zu diesem Zweck eine eigene Software entwickelt, welche aus den DOM-Daten für ein Gebäude die einzelnen Dachflächen des Gebäudes automatisch erkennt. Das Ergebnis hängt stark von der Qualität der DOM-Daten und der Komplexität der Dachformen ab. Während einfache Dachformen in der Regel sehr gut erkannt werden, kann das Ergebnis bei komplexen Dachstrukturen oder Dächern mit vielen Dachaufbauten zum Teil deutlich von der Realität abweichen. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis der Dachflächenextraktion für das Beispielgebiet Tödistrasse. Bei Reihenhäusern wurden die Dachflächen pro Gebäude einzeln (gemäss den Gebäudegrundrissen) erfasst.

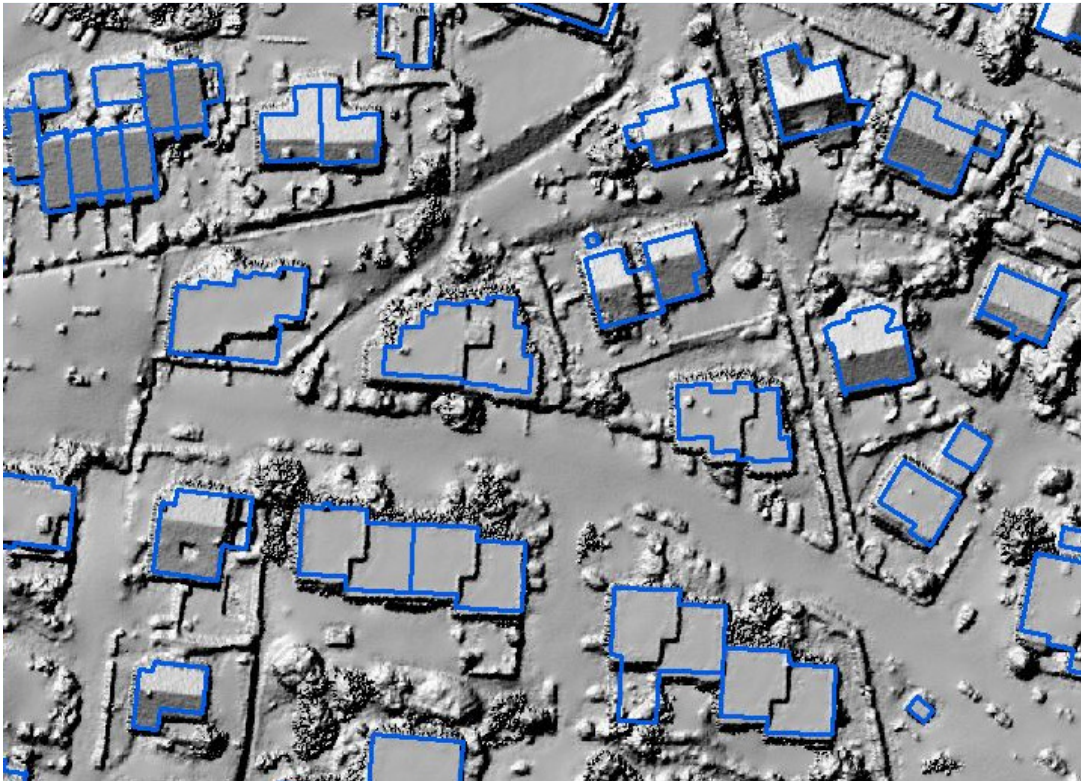


Abbildung 2: DOM (Schattierung) und Gebäudegrundrisse in blau für das Beispielgebiet Tödistrasse.

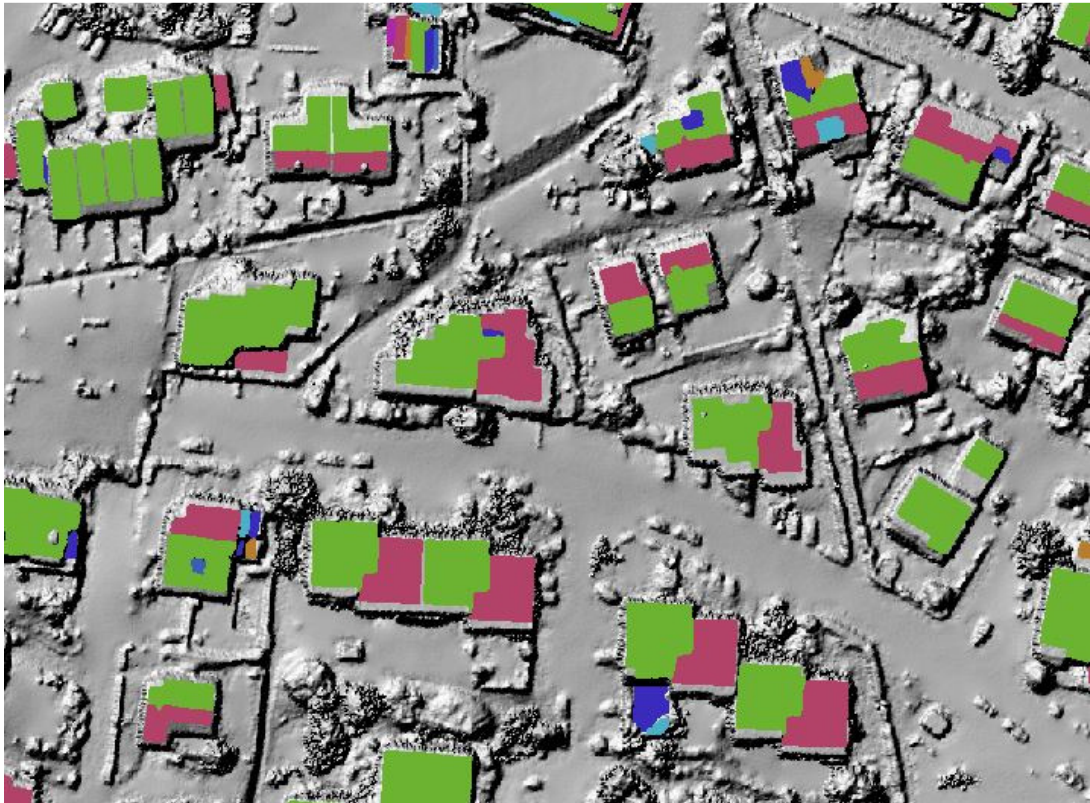


Abbildung 3: Ergebnis der Dachflächenextraktion (jede Fläche eine eigene Farbe) für das Beispielgebiet Tödistrasse.

2.3 Horizontanalyse

Die Horizontanalyse wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse mit einer horizontalen Auflösung von 5 Grad und einer vertikalen Auflösung von 1 Grad durchgeführt. Dabei wurde der Nahhorizont (benachbarte Gebäude, Bäume etc.) innerhalb eines Radius von 20 m aus dem 20-cm-DOM, innerhalb eines Radius von 100 m aus einem abgeleiteten 1-m-DOM und innerhalb eines Radius von 1'000 m aus einem abgeleiteten 10-m-DOM berechnet. Die Berechnung des Fernhorizontes (Hügel, Berge) erstreckte sich auf einen Radius von 25 km. Dafür wurde das digitale Geländemodell der Schweiz mit einer Auflösung von 100 m verwendet. Wenn die Berechnung des Horizonts einen negativen Wert aufwies, wurde der Horizontwert auf 0 gesetzt.

2.4 Strahlungsberechnung

Abbildung 4 zeigt schematisch die Eingangsdaten für die Strahlungsberechnung mit der Software Meteonorm.

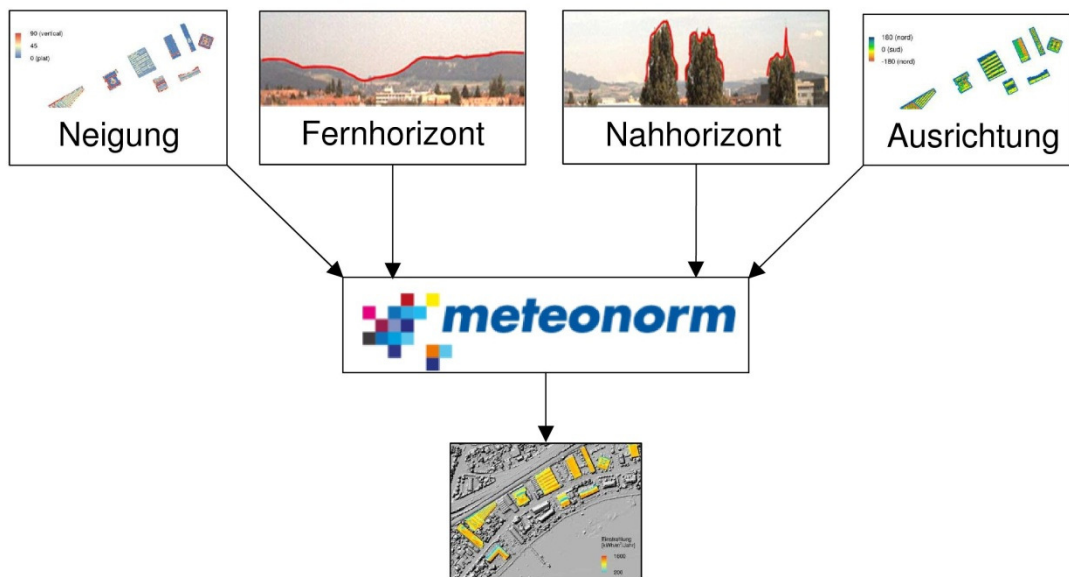


Abbildung 4: Ablauf der Strahlungsberechnung mit Meteonorm.

In einem ersten Schritt wurde mit der Software Meteonorm für die Gemeinde Stäfa die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für jede Stunde eines typischen Jahres berechnet. Die Verschattung wurde dabei noch nicht berücksichtigt. Die jährliche Globalstrahlung auf eine unverschattete horizontale Fläche in Stäfa beträgt 1'115 kWh/m². Tabelle 1 zeigt einen Vergleich mit Städten in der Deutschschweiz. Der Anteil der Diffusstrahlung an der Globalstrahlung und die Monatswerte der Strahlung sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Diffusstrahlung macht einen beträchtlichen Anteil der verfügbaren Gesamteinstrahlung aus.

Tabelle 1: Vergleich der jährlichen Einstrahlung für verschiedene Städte.

Standort	Bern	Basel	Zürich	St. Gallen	Stäfa
Strahlung [kWh/m ² /Jahr]	1'164	1'133	1'112	1'091	1'115

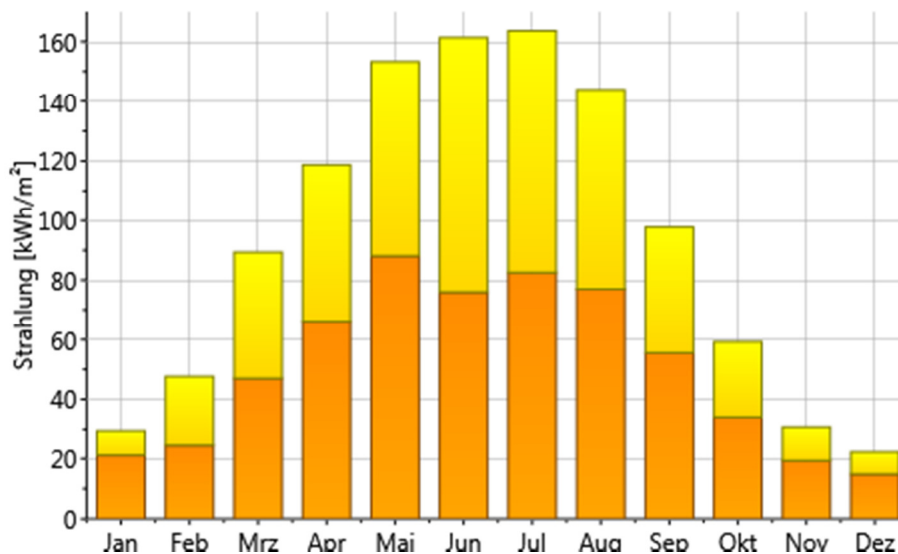


Abbildung 5: Anteil der Diffusstrahlung (orange) an der Globalstrahlung (ganzer Balken orange + gelb) und Aufteilung auf die einzelnen Monate für den Standort Stäfa. Daten: Meteonorm.

In einem zweiten Schritt wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse die Einstrahlung unter Berücksichtigung der entsprechenden Ausrichtung, Neigung und Horizontlinie berechnet.

Die Auswirkung des Horizonts auf die Einstrahlung wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse berechnet. Dabei wurden die direkte und die diffuse Strahlung separat ermittelt.

Für die direkte Strahlung wurde für jede Stunde ermittelt, ob die Sonnenposition über dem Horizont des Rasterpunkts liegt oder nicht. Falls die Sonne über dem Horizont liegt, wurde die direkte Strahlung in der entsprechenden Stunde berücksichtigt, ansonsten nicht.

Für die diffuse Strahlung war das Vorgehen komplexer. Der reflektierte Anteil der diffusen Strahlung wurde wie von der Meteonorm berechnet belassen. Für den nicht reflektierten Anteil der diffusen Strahlung wurde zuerst für jede Stunde im Jahr die Einstrahlungsverteilung der diffusen Strahlung über die Himmelskuppel gemäss dem Perez-Modell² berechnet (Auflösung 1 Grad; vgl. Abbildung 6, links). Danach wurde ermittelt, welche Teile der Himmelskuppel über dem Horizont liegen und welche darunter (Abbildung 6, Mitte). Anschliessend wurde nur der Anteil der diffusen Strahlung, der über dem Horizont liegt, für die Berechnung berücksichtigt (Abbildung 6, rechts).

² Perez et al., All-weather model for sky luminance distribution – preliminary configuration and validation. Solar Energie Vol. 50, 1993, pp. 235–245.

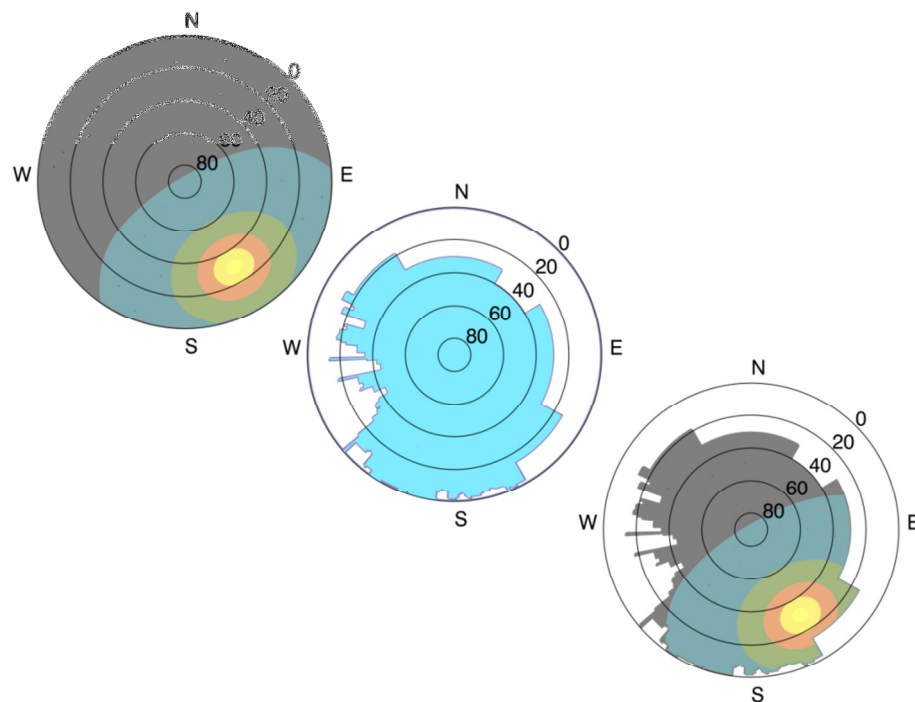


Abbildung 6: Vorgehen bei der Verschattungsanalyse für die diffuse Strahlung: Strahlungsverteilung (links), Horizont (Mitte) und sichtbarer Teil der Strahlungsverteilung (rechts).

Speziell behandelt wurden Flächen mit einer Neigung von 5 Grad und weniger (Flachdächer). Bei diesen Flächen wurde davon ausgegangen, dass eine Photovoltaikanlage aufgeständert wird. Deshalb wurde für diese Flächen bei der Einstrahlungsberechnung pro Dachfläche die Ausrichtung auf Süden und die Neigung auf 30 Grad gesetzt. Eine Neigung von 30 Grad optimiert den möglichen Ertrag pro Fläche. Bei der Potenzialabschätzung für das gesamte Gemeindegebiet muss aber berücksichtigt werden, dass bei aufgeständerten Anlagen maximal die Hälfte der zur Verfügung stehenden Dachfläche ausgenutzt werden kann, ohne durch gegenseitige Abschattung der Module erhebliche Ertragsverluste zu erleiden.

3 Ergebnisse Solarpotenzialanalyse

3.1 Einstrahlungskarte

Als primäres Ergebnis liegt die Einstrahlung pro Quadratmeter als Rasterbild vor (vgl. Abbildung 7). Die Werte geben die jährliche Globalstrahlung pro Quadratmeter an ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{Jahr}$). Hier wurde die Einstrahlung auf Basis des direkt aus dem DOM abgeleiteten Gebäudeoberflächenmodells und den dazugehörigen Werten für die Ausrichtung und Neigung berechnet.

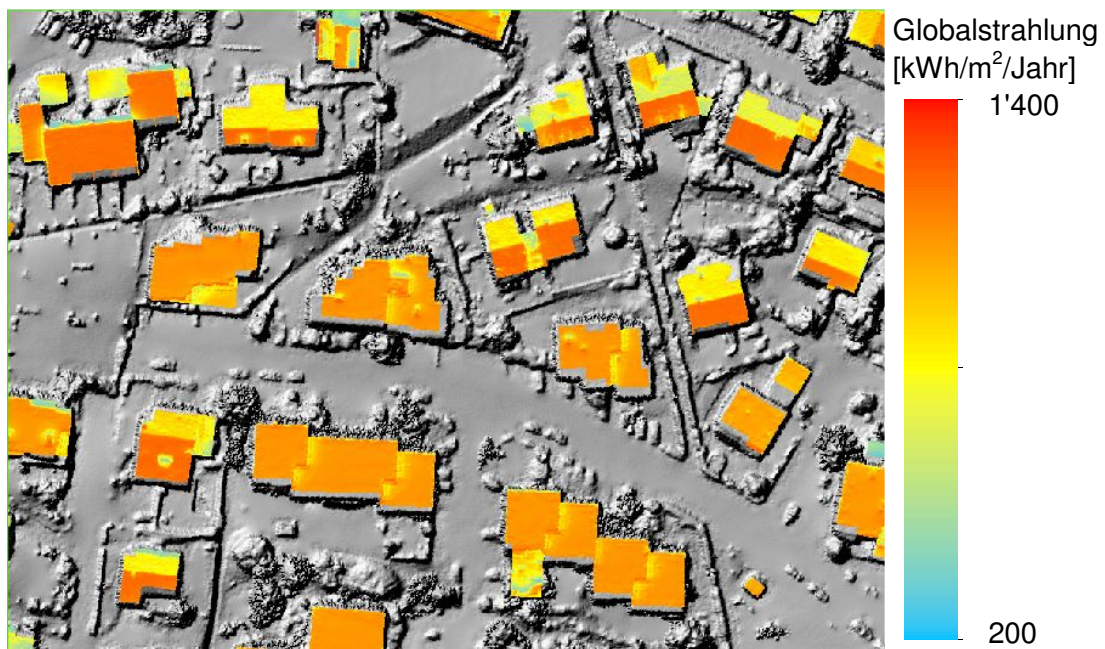


Abbildung 7: Einstrahlung [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{Jahr}$] für das Beispielgebiet Tödistrasse.

3.2 Solarkataster Dachflächen

Im Rahmen der Dachflächenanalyse (vgl. Abschnitt 2.2) wurde innerhalb der erfassten Flächen das Gebäudeoberflächenmodell sowie die Ausrichtung und Neigung homogenisiert. Das Solarkataster Dachflächen wird auf Basis dieser homogenisierten Werte berechnet. Damit ist gewährleistet, dass Ausrichtung und Neigung innerhalb einer Dachfläche homogen sind. Zudem wird dadurch ein allfälliger falscher Horizont durch eine Inhomogenität des DOM eliminiert. Ausserhalb der Dachflächen wird das DOM für die Verschattungsanalyse verwendet. Da die Berechnung des Solarkatasters auf die Bereiche innerhalb der Gebäudegrundrisse beschränkt ist, fehlen allfällige Vordächer im Solarkataster. Wie in Abschnitt 2.4 erwähnt, wurden Dachflächen mit einer Neigung von 5 Grad und weniger (Flachdächer) speziell behandelt. Für diese Flächen wurde davon ausgegangen, dass eine Photovoltaikanlage aufgeständert wird. Deshalb wurde für diese Flächen bei der Einstrahlungsberechnung pro Dachfläche die Ausrichtung auf Süden und die Neigung auf 30 Grad gesetzt.

Das Ergebnis ist ein Feature-Dataset mit 11'435 Dachflächen (Gesamtfläche von 574'181 m²). Für jede Dachfläche sind die in Tabelle 2 erläuterten Parameter angegeben. Der Feature-Datensatz wurde als Shapefile sowie als KML File exportiert. Jede Dachfläche wurde aufgrund der mittleren Einstrahlung einer Eignungsklasse (Eignung) zugeordnet. Die Einteilung in die Eignungsklassen erfolgte gemäss Tabelle 3. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt aus dem Solarkataster und in Tabelle 4 sind die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Als Lesebeispiel: Von den insgesamt 11'435 Dachflächen sind 3'415 Dachflächen gut geeignet. Die Summe der gut geeigneten Dachflächen beträgt 159'289 m², was 28% der Gesamtfläche aller Dachflächen entspricht. Knapp ein Drittel aller Dachflächen in Stäfa sind Flachdächer was ein relativ hoher Anteil ist.

Tabelle 2: Parameter für die Dachflächen.

Parameter	Einheit	Beschreibung
Gesamteinstrahlung	[kWh/Jahr]	Gesamte Einstrahlung für die Dachfläche pro Jahr.
Fläche	[m ²]	Totale (geneigte) Fläche einer Dachfläche. Dachteile ausserhalb der Gebäudegrundrisse sind nicht berücksichtigt. Bei Flachdächern kann bei einer aufgeständerten Anlage nur rund die Hälfte der hier angegebenen Fläche genutzt werden.
Ausrichtung	Grad	-/+180 = Nord, -90 = Ost, 0 = Süd, 90 = West
Neigung	Grad	0 = flach, 90 = vertikal
mittlere Einstrahlung	[kWh/m ² /Jahr]	Mittlere Einstrahlung pro Quadratmeter pro Jahr für die Dachfläche.
Elektrischer Ertrag	[kWh/Jahr]	erzielbarer elektrischer Ertrag (vgl. Abschnitt 3.3)
Thermischer Ertrag	[kWh/Jahr]	erzielbarer thermischer Ertrag (vgl. Abschnitt 3.5)
Eignung	-	vgl. Tabelle 3

Tabelle 3: Eignungsklassen gemäss der mittleren Einstrahlung.

Eignung	Kriterien
sehr gut	mittlere Einstrahlung grösser als 1'200 kWh/m ² /Jahr
gut	mittlere Einstrahlung grösser als 1'000 kWh/m ² /Jahr
mässig	mittlere Einstrahlung grösser als 800 kWh/m ² /Jahr
schlecht	mittlere Einstrahlung kleiner als 800 kWh/m ² /Jahr



Abbildung 8: Solarkataster für das Beispielgebiet Tödistrasse mit den Eignungsklassen: Sehr gut, gut, mässig und schlecht (Orthophoto vom Bildflug im Frühjahr 2012).

Tabelle 4: Anzahl Dachflächen und Aufteilung in Schräg- und Flachdächer pro Eignungsklasse.

Eignung	Anzahl	Fläche [m ²]	Fläche Schrägdächer [m ²]	Fläche Flachdächer [m ²]	Anteil Gesamtfläche [m ²]
sehr gut	2'307	192'132	70'784	121'348	33%
gut	3'415	159'289	112'711	46'578	28%
mässig	3'045	120'458	109'479	10'979	21%
schlecht	2'668	102'302	97'833	4'469	18%
Total	11'435	574'181	390'807	183'374	100%

Von Interesse ist auch, wie sich die Fläche in den einzelnen Eignungsklassen auf die verschiedenen Dachgrössen aufteilt. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt. Als Lesebeispiel: Die Gesamtfläche aller Dachflächen die zwischen 11 und 100 m² gross und gut geeignet sind beträgt 85'755 m².

Es zeigt sich, dass der Anteil der guten und sehr guten Dachflächen bei grossen Dächern überproportional ist. Das hängt zu einem Teil damit zusammen, dass grosse und insbesondere sehr grosse Dachflächen häufiger Flachdächer sind, für

die von aufgeständerten und nach Süden ausgerichteten Photovoltaikanlagen ausgegangen wurde. Zudem sind grosse Dachflächen sehr selten stark verschattet. Weiter zeigen die Ergebnisse, dass nur 2.9% (16'549 m²) der Gesamtfläche auf kleine Dachflächen von 10 m² und weniger entfällt.

Tabelle 5: Aufteilung der Dachflächen in Grössen Kategorien pro Eignungsklasse.

Eignung	0–10 m ²	11–100 m ²	101–1'000 m ²	> 1'000 m ²
sehr gut	1'702	67'844	111'517	11'069
gut	5'332	85'755	60'175	8'027
mässig	5'387	77'782	36'262	1'027
schlecht	4'128	69'885	28'289	0
Total	16'549	301'266	236'243	20'123

3.3 Umrechnung in elektrische Energie

Der erzielbare Ertrag hängt nicht nur von der Fläche und der gegebenen Einstrahlung ab, sondern auch vom Wirkungsgrad der eingesetzten Module (vgl. Tabelle 6). Der für Module angegebene Wirkungsgrad bezieht sich immer auf Standard-Testbedingungen (25 °C Zelltemperatur und Einstrahlungsstärke von 1'000 W/m²). Der Wirkungsgrad ist temperaturabhängig und nimmt z.B. für kristalline Siliziumzellen mit rund 0.05% pro Grad ab. Wir gehen im Folgenden von einem mittleren Modulwirkungsgrad von 15% aus. Ein solcher ist mit den heute am häufigsten verwendeten Siliziumzellen problemlos erreichbar.

Tabelle 6: Modulwirkungsgrad bei Standard-Testbedingungen³.

Material	Modulwirkungsgrad
Monokristallines Silizium	11% bis 19.5%
Polykristallines Silizium	10% bis 16%
Amorphes Silizium	3% bis 7.5%
Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)	7.5% bis 11.5%

Neben dem Modulwirkungsgrad muss weiter der Systemwirkungsgrad (performance ratio) berücksichtigt werden. Der Systemwirkungsgrad berücksichtigt alle Verluste in der Anlage (z.B. Wechselrichter, Temperatur-Abhängigkeit des Modulwirkungsgrades). Durch die Verbesserungen insbesondere bei den Wechselrichtern kann heute von einem Systemwirkungsgrad von 85% ausgegangen werden.

Insgesamt ergibt dies für die Umrechnung des Einstrahlungspotenzials in das Potenzial für elektrische Energie einen Faktor von 12.75% (85%*15%).

³ kommerziell erhältliche Module. Quelle: Swisssolar/Häberlin 2010.

Für Flachdächer wurde bei der Einstrahlungsberechnung von einer aufgeständerten und nach Süden ausgerichteten Anlage ausgegangen. In der Praxis kann bei einer aufgeständerten Anlage nur rund die Hälfte der Fläche genutzt werden, ohne durch gegenseitige Abschattung der Module erhebliche Ertragsverluste zu erleiden. Somit kann in der Praxis nur die Hälfte des im Solarkataster für Flachdächer angegebenen Ertrages erzielt werden.

3.4 Installierte elektrische Leistung pro Fläche

Die Leistung von Photovoltaikanlagen wird in der Regel in Kilowattpeak [kWp] angegeben. Dabei handelt es sich um die Leistung der Anlage bei Standard-Testbedingungen (25 °C Zelltemperatur und Einstrahlungsstärke von 1000 W/m²). Die pro Quadratmeter installierbare Leistung in [kWp] ergibt sich aus dem Modulwirkungsgrad. Liegt dieser z.B. bei 15%, so kann pro Quadratmeter eine Leistung von $150 \text{ Wp/m}^2 = 0.15 \cdot 1000 \text{ W/m}^2$ erreicht werden.

Für eine Photovoltaikanlage mit einer Leistung von 1 kWp wird somit eine Fläche von rund 7 m² benötigt.

3.5 Solarthermische Nutzung (Sonnenkollektoren)

Solarthermische Anlagen weisen generell einen höheren Wirkungsgrad als Photovoltaikanlagen auf, wobei das Produkt einer solarthermischen Anlage Wärmeenergie ist und bei einer Photovoltaikanlage höherwertige elektrische Energie erzeugt wird. Ob eine Dachfläche besser für eine Photovoltaikanlage oder für eine solarthermische Anlage (Heizung, Warmwasser) genutzt wird, hängt von den Gegebenheiten im Einzelfall (bereits installiertes Heizsystem, Wärmebedarf, zur Verfügung stehender Platz für Wärmespeicher etc.) ab. Es lohnt sich, die Beratung durch eine Fachperson in Anspruch zu nehmen.

Der erzielbare Wirkungsgrad bei der Umwandlung der Einstrahlung (im Solarkataster für jede Dachfläche angegeben) in Wärmeenergie hängt stark von der Auslegung des solarthermischen Systems und dem Verwendungszweck ab. Mögliche Nutzungen einer solarthermischen Anlage sind Wasservorwärmung, Erzeugung von Brauchwarmwasser und Heizungsunterstützung. In Tabelle 7 sind typische Wirkungsgrade von solarthermischen Anlagen für diese drei Verwendungszwecke angegeben. Die Angaben basieren auf Testberichten des Instituts für Solartechnik an der Hochschule für Technik in Rapperswil⁴. Für die Berechnung des thermischen Ertrags im Solarkataster wurde ein Wirkungsgrad von 45% verwendet.

⁴ Die Werte basieren auf einer Simulation mit Polysun (<http://www.polysun.ch>). Es wurde dabei von einer Einstrahlung von 1'200 kWh/m²/Jahr in die Kollektorebene und einer 45° geneigten Anlage ausgegangen. Mehr Details unter <http://www.solarenergy.ch>.

Tabelle 7: Typische Wirkungsgrade von Sonnenkollektoren.

Verwendungszweck	Wirkungsgrad
Wasservorwärmung	50%–75%
Brauchwarmwasser	40%–60%
Heizungsunterstützung	25%–50%

3.6 Photovoltaik- und Solarthermie-Potenzial für die Gemeinde Stäfa

Das Vorgehen zur Potenzialberechnung ist analog einer von Meteotest für das Bundesamt für Umwelt BAFU erstellten Studie zum Solarenergiepotenzial für die gesamte Schweiz⁵. Für die solarthermische Nutzung wird eine Fläche von 2 m² pro Einwohner reserviert⁶ was im Fall der Gemeinde Stäfa mit 13'900 Einwohnern⁷ einer Fläche von 27'800 m² und einem Anteil von knapp 8% gut und sehr gut geeigneten Dachflächen (vgl. Tabelle 4) entspricht.

Die Gesamteinstrahlung auf alle Dachflächen beträgt für die Gemeinde Stäfa 594 GWh/Jahr. Könnte die gesamte Strahlung mit einem mittleren Gesamtwirkungsgrad der Photovoltaikanlagen von 12.75% genutzt werden (vgl. Abschnitt 3.3), ergäbe sich eine Stromproduktion von **76 GWh/Jahr**, was als **theoretisches Potenzial** bezeichnet werden kann. Wird weiter berücksichtigt, dass bei Flachdächern wegen den in der Strahlungsberechnung angenommenen aufgeständerten Anlagen nur die Hälfte der Fläche genutzt werden kann, ergibt sich eine Stromproduktion von **62 GWh/Jahr**. Dieser Wert kann als **technisches Potenzial** der Photovoltaiknutzung auf den Dachflächen von Stäfa bezeichnet werden. Werden nur die gut und sehr gut geeigneten Dachflächen berücksichtigt, beträgt das Potenzial **40 GWh/Jahr**. Dieser Wert kann als **wirtschaftliches Potenzial** bezeichnet werden.

Wegen zusätzlicher störender Aufbauten (Ausparung um Kamine, Dachfenster etc.), die im Solarkataster nicht enthalten sind, reduziert sich das wirtschaftliche Potenzial erfahrungsgemäss um rund 20%. Aufgrund von Schutzobjekten reduziert sich das Potenzial schätzungsweise um weitere 5%. Weiter werden wie erwähnt 8% der Fläche von gut und sehr gut geeigneten Dachflächen für solarthermische Nutzung reserviert. Unter Berücksichtigung dieser Effekte verbleiben somit für die Photovoltaik 67% des wirtschaftlichen Potenzials, was **27 GWh/Jahr** entspricht.

⁵ Energiestrategie 2050: Berechnung der Energiepotenziale für Wind- und Sonnenenergie. Erstellt durch Meteotest im Auftrag des Bundesamts für Umwelt BAFU (2012). Abrufbar unter: <http://www.bafu.admin.ch/energie/index.html?lang=de>

⁶ Ziel der Swissolar bis 2035: Abrufbar unter http://www.swissolar.ch/fileadmin/files/swissolar_neu/medien/2012/120125_MM_Tagung_Solarw%C3%A4rme_Schweiz_2012.pdf. 2 m² Fläche pro Kopf sollte auch aufgrund der technischen Machbarkeit (insbesondere Grösse der Warmwasserspeicher) gut umsetzbar sein.

⁷ Einwohnerstatistik Gemeinde Stäfa. Abrufbar unter: (<http://www.staefa.ch>)

Welcher Teil dieses Potenzials genutzt wird, ist eine Frage der politischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.